

Н.А. ТКАЧУК, докт. техн. наук, НТУ “ХПИ”,
И.В. АРТЕМОВ, Головной специализированный,
конструкторско-технологический институт, г. Мариуполь
О.А. ИЩЕНКО, Г.Н. ЕФИМОВ, Таврическая
государственная агротехническая академия, г. Мелитополь

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА И РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОРПУСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАНОЧНЫХ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ ОСНАЩЕНИЯ СТАНКОВ ФРЕЗЕРНО-СВЕРЛИЛЬНОЙ ГРУППЫ

На основі системного підходу до проектування елементів технологічних систем сформульована задача розрахунково-експериментального дослідження верстатних пристосувань. На прикладі пристосувань для фрезерних верстатів продемонстровано можливість забезпечення високої їх жорсткості.

On the basis of system approach to design of elements of technological systems the task of calculation-experimental research of machine-tools devices is formulated. A possibility of providing of high rigidity of devices for millings machines is shown on its example.

Введение. Проблема автоматизации процессов проектирования, исследования и изготовления деталей машиностроительных изделий и элементов технологической оснастки (ЭТО) для их изготовления является составным элементом решения большой научно-технической проблемы повышения их технических характеристик на основе обеспечения высокой точности изготовления деталей.

Признанные пути повышения точности обработки: разработка и применение новых видов технологий; внедрение нового высокоточного и высокопроизводительного оборудования; применение новых типов инструмента; применение новых типов технологической оснастки (ТО). В этом перечне наиболее оперативные и наименее затратные – последние направления. Это обстоятельство обусловлено следующими особенностями современного состояния отечественного машиностроения: наличие большого парка устаревших станков; трудности технического перевооружения; отсутствие потребности в массовом производстве неизменной номенклатуры изделий на сегодняшний день и на ближайшие годы; мелкосерийный характер производства; необходимость частого обновления номенклатуры изделий на предприятиях машиностроения; высокие требования к точности изготовления сложнопрофильных деталей современной техники; необходимость быть в состоянии потенциальной готовности к быстрому освоению выпуска изделий, причем на данный момент спектр возможных заказов достаточно широк.

Из данного анализа с учетом широкой номенклатуры оснастки и ее непосредственного воздействия на точность обработки деталей следует

проблема обеспечения точностных и жесткостных характеристик ЭТО и их соответствия требованиям на технические характеристики станков и инструмента, которые оговорены в ряде стандартов [1-6].

Таким образом, можно сделать вывод, что в настоящее время массовое техническое перевооружение производства на отечественных предприятиях экономически нецелесообразно. Речь идет о наиболее рациональном использовании имеющегося потенциала и “расшивке узких мест”, в том числе и в первую очередь за счет технологической оснастки, включая переналаживаемую оснастку. Последнее обусловлено следующими факторами: относительно низкая стоимость; возможность расширения технологических возможностей и срока эксплуатации станков. В настоящее время разработаны основные элементы отраслевой системы технологической подготовки производства на отечественных предприятиях, в том числе на основе переналаживаемой технологической оснастки.

Анализ состояния вопроса обеспечения прочностных и жесткостных характеристик элементов технологических систем (ТС), в том числе проектирования и исследования технологических систем в машиностроении в целом, позволяет выделить следующие тенденции:

1. Гибкие технологические системы (ГТС) рассматриваются как одно из основных направлений обеспечения точности и производительности при обработке деталей, особенно в условиях быстрого изменения номенклатуры обрабатываемых деталей и ужесточения требований к точности их изготовления.

2. Основной элемент технологической системы, определяющий уровень ее жесткостных и точностных характеристик – технологическое оборудование (станок с ЧПУ, станок типа “обрабатывающий центр”, термопластавтомат, пресс и т.д.).

3. Среди тенденций машиностроения в целом – расширение автоматизации, многономенклатурность, переналаживаемость, перенастраиваемость, гибкость, создание единой информационной цепи на всех этапах жизни изделия от первых этапов проектирования до изготовления.

4. Наиболее предпочтительным с точки зрения затрат материальных ресурсов и времени (а также достигаемого эффекта) способом обеспечения точности обработки, гибкости и переналаживаемости ГТС является применение переналаживаемой технологической оснастки [7-15], преимуществами которой являются оперативность оснащения производства, экономичность, высокая точность и жесткость, охват широкой номенклатуры деталей.

5. Одним из основных вопросов при проектировании технологической оснастки является гармонизация стоимостных факторов, точности (жесткости), производительности (т.е. технологических режимов, а отсюда – требование обеспечения прочности), минимальная материалоемкость,

унификация, максимальное расширение технологических возможностей.

Отдельная область исследований – так называемые “технологические задачи”, в которых исследуются физико-механические процессы при изготовлении деталей штамповкой, литьем, резанием, ковкой, прессованием [16-20]. В публикациях освещены вопросы моделирования данных процессов и характеристик воздействия на инструмент, оборудование и оснастку. В то же время исследования, посвященные оснастке как составному элементу технологической системы, занимают неоправданно малый объем в общем объеме исследований элементов ТС. Двоякая роль технологической оснастки, которая обеспечивает, с одной стороны, базирование деталей, а с другой - закрепление (замыкание и закрепление от смещений и деформаций при обработке), требует технологическую систему рассматривать комплексно, с учетом оснастки, которая оказывает самое непосредственное влияние на точность изготовления. Существующее в настоящее время большое количество работ по некоторым вопросам проектирования элементов оснастки содержит разрозненные несистемные исследования, не объединенные единой методологической базой [7-15].

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Общая задача обеспечения точности изготовления деталей машиностроительных изделий, во многом определяемой жесткостными характеристиками технологической оснастки, является составляющей частью актуальной для отечественного машиностроения масштабной научно-технической и народно-хозяйственной проблемы создания новых машин с высокими техническими характеристиками.

2. Проектирование технологической оснастки характеризуется недостаточным вниманием к обеспечению прочностных и жесткостных характеристик, в результате чего или повышается металлоемкость, или сужаются технологические возможности технологических систем в целом.

3. Для обеспечения требуемых жесткостных характеристик технологической оснастки неприменимы известные подходы для типовых элементов (балки, пластины, оболочки или массивы простой формы).

Таким образом, возникает необходимость привлечения аналитических, численных и экспериментальных методов исследования при решении актуальной и важной задачи оптимального синтеза элементов технологической оснастки. При этом необходимо обеспечить единый подход к организации процесса исследований элементов технологической оснастки как составного процесса их проектирования с конечной целью обеспечения высокой точности обработки деталей машиностроительных изделий.

1. Структура специализированной автоматизированной системы исследования прочностных и жесткостных характеристик станочных приспособлений. Рассмотрим предполагаемую технологию исследований на примере конкретных станочных приспособлений. В процессе проектирования подставки пневмомеханической ОМ 7206-4098 и стойки

ОМ 7206-4099 (конструкция ХНИИТМ, рис.1), которые предназначены для базирования и закрепления деталей при обработке на станках фрезерно-сверлильной группы, возникла необходимость расчетно-экспериментального исследования жесткости базовых поверхностей данных приспособлений.

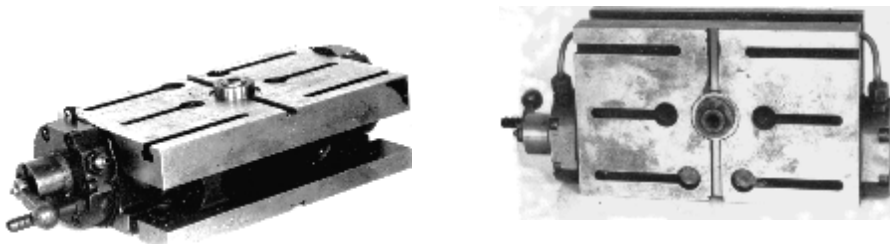


Рис. 1. Приспособления ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099

На основе предлагаемого в работе подхода для этой цели была создана специализированная подсистема анализа напряженно-деформированного состояния приспособлений данного типа, а также разработана методика их экспериментальных исследований. Результаты численных и экспериментальных исследований позволили установить рациональные конструктивные параметры.

Система автоматизированного моделирования и исследования напряженно-деформированного состояния приспособлений ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099. В соответствии с разработанным в работе подходом специализированная система автоматизированного анализа прочностных и жесткостных характеристик приспособлений типа ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099 состоит из модулей: геометрического моделирования; создания конечно-элементной модели; интерфейса и управления (рис. 2).

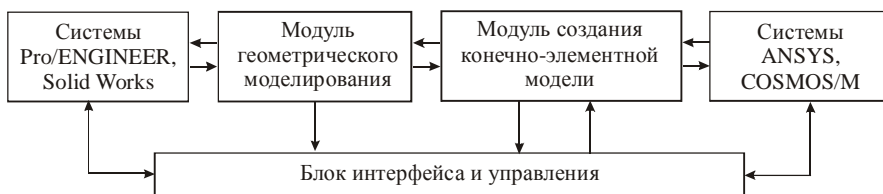


Рис. 2. Схема специализированной системы моделирования и анализа прочностных и жесткостных характеристик ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099

Модель корпуса приспособления ОМ 7206-4098 приведена на рис. 3. В качестве варьируемых параметров выступают: габаритные размеры; места расположения и размеры базовых пазов; размеры пневмоцилиндра; места приложения нагрузок от наладки; усилие прижима от пневматического

привода; характерные размеры конечных элементов и их типы; условия закрепления. Все эти характеристики образуют пространство обобщенных параметров при исследовании приспособлений типа подставка и стойка.

При постановке задачи исследований разработчиками была предложена следующая методика исследований:

1. Исследование напряженно-деформированного состояния базовых конструкций ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099 при помощи метода конечных элементов и параллельно - методом непосредственных измерений.

2. Определение вариантов, в которых наблюдаются максимальные перемещения точек базовой плоскости приспособлений.

3. Сравнение результатов численных и экспериментальных исследований и разработка стратегии дальнейших исследований приспособлений.

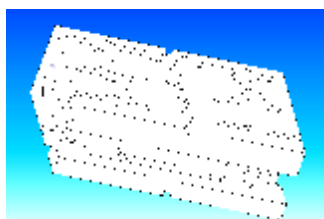
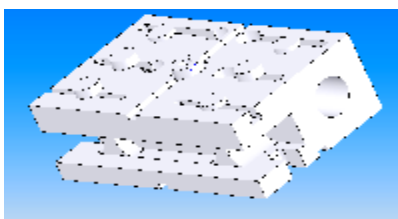


Рис. 3. Пространственная геометрическая модель приспособления ОМ 7206-4098

Результаты численных исследований. На рис. 4 приведен один из вариантов пространственной и конечно-элементной моделей подставки ОМ 7206-4098. В качестве базовой величины усилий на прижимающем штоке принималось номинальное значение 10 кН. В качестве вариантов наладок рассматривались схемы распределения опор, приведенные на рис. 5.

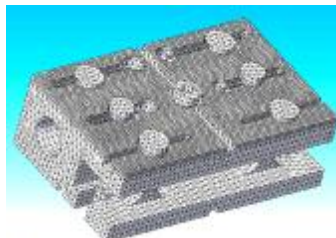
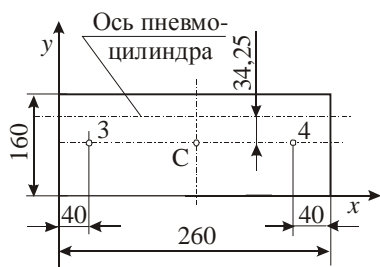
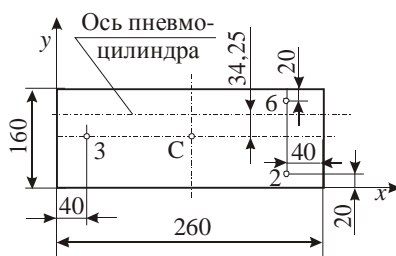


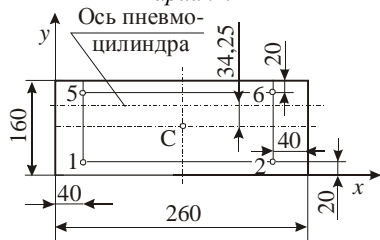
Рис. 4. Вариант конечно-элементной модели исследуемой подставки



Вариант 1



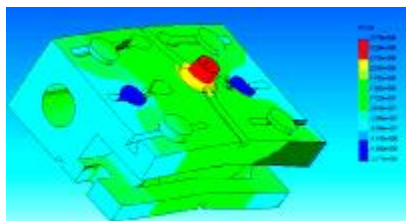
Вариант 2



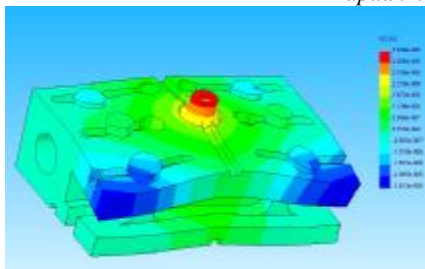
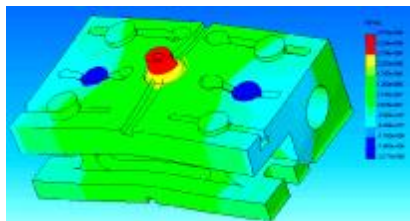
Вариант 3

Рис. 5. Схемы распределения нагрузок, соответствующих различным конструкциям наладок

Картини распределения перемещений точек базовой плоскости приспособлений ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099 представлены на рис. 6.



Вариант нагружения №1



Вариант нагружения №3

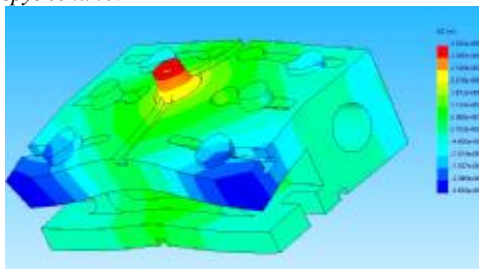


Рис. 6. Картини распределения перемещений точек базовой плоскости подставки ОМ 7206-4098

2. Методика экспериментальных исследований. Экспериментальное исследование жесткости базовой поверхности стойки и подставки производилось для 4-х вариантов нагружения. В дополнение к вариантам, приведенным на рис.6, исследуется вариант 4 центрального нагружения (рис. 7-10). Определение реального усилия зажима P обрабатываемой детали производится путем измерения усилия прижима мессдозы. Мессдоза, представляющая собой полый цилиндр с наклеенными на нем тензодатчиками, устанавливается на базовую поверхность приспособления и прижимается к ней при помощи винта, связанного с тягой приспособления. В зависимости от величины давления воздуха на поршень изменяется и усилие прижима детали (в данном случае на ее месте находится мессдоза), что вызывает изменение сопротивления тензодатчиков, что, в свою очередь, регистрируется протарированным прибором ИСД-3 (рис. 11).

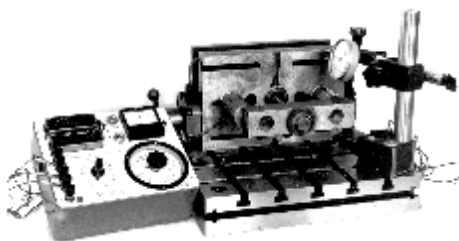


Рис. 7. Вариант №1 нагружения приспособления ОМ 7206-4099

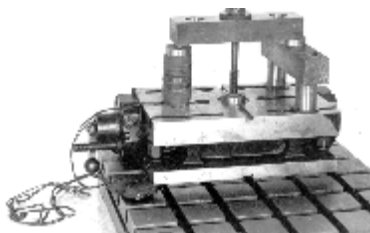


Рис. 8. Вариант №2 нагружения приспособления ОМ 7206-4098

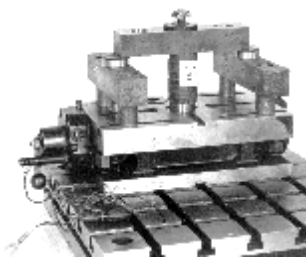


Рис. 9. Вариант №3 нагружения приспособления ОМ 7206-4098

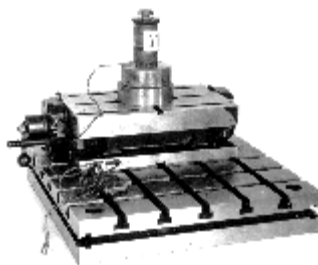


Рис. 10. Вариант №4 нагружения приспособления ОМ 7206-4098

При этом тянущее усилие всегда прикладывается через тягу, а его величина регулируется степенью затяжки винта, опирающегося через стержень на систему цилиндров, моделирующих давление в определенных точках базовой поверхности.

Точки приложения усилий при различных вариантах нагружения следующие: для ОМ 7206-4098 –

- 1) точки 3,4, мессдозы – в точках 3,4 (см. рис. 5);
- 2) точки 2,3,6, мессдоза – в точке 3;
- 3) точки 1,2,5,6, мессдоза – в точке С;
- 4) нагрузка прикладывается по кольцу $\varnothing 80$, толщиной 10 мм с центром в точке С;

для ОМ 7206-4099 –

- 1) точки 3,4, мессдозы – в точках 3,4 (см. рис. 5);
- 2) точки 1,4,5, мессдоза – в точке 4;
- 3) нагрузка прикладывается по кольцу $\varnothing 80$, толщиной 10 мм с центром в точке С.

Перемещения точек базовой поверхности в нормальном направлении, вызванные приложенной нагрузкой, фиксируются системой индикаторов часового типа МИГ-1, расположенных в точках пересечения прямых $x = 0$ мм, $x = 65$ мм, $x = 120$ мм, $x = 140$ мм, $x = 195$ мм, $x = 260$ мм и прямых $y = 0$ мм, $y = 40$ мм, $y = 70$ мм, $y = 90$ мм, $y = 120$ мм, $y = 160$ мм (показаны на рис. 12).

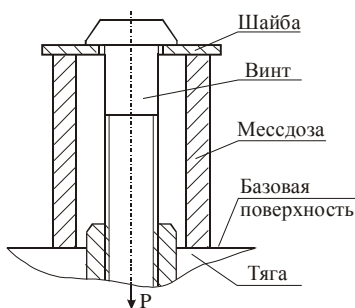


Рис. 11. Схема измерения усилия зажима

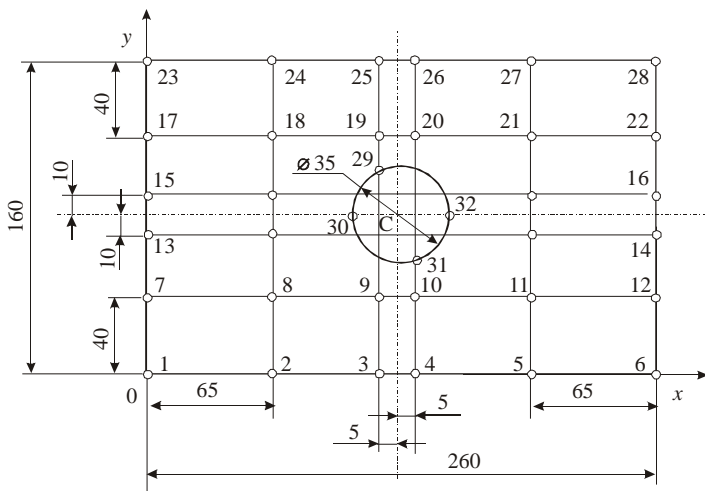


Рис. 12. Точки размещения индикаторов на базовой поверхности приспособлений ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099

3. Результаты экспериментальных исследований. Рабочий момент испытаний представлен на рис. 7, применяемая аппаратура (мессдозы, индикатор часового типа МИГ-1, измеритель статических деформаций ИСД-3) – на рис. 13.

В табл. 1 приведены величины перемещений точек базовой поверхности (с 1-й по 28-ю точку) при соответствующих вариантах нагружения. При этом положительное значение перемещения w направлено от базовой поверхности внутрь корпуса стоек пневмомеханических. Во всех вариантах нагружения значение усилия на мессдозе для приспособления ОМ 7206-4098 равно 10 кН, для приспособления ОМ 7206-4099 – 5 кН.



Рис. 13. Измерительные приборы для исследования приспособлений ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099

Таблица 1

Перемещение точек базовой поверхности приспособлений
ОМ 7206.4098 и ОМ 7206.4099, мкм

№ точек	Варианты нагружений					№ точек	Варианты нагружений				
	ОМ 7206-4098			ОМ 7206-4099			ОМ 7206-4098			ОМ 7206-4099	
	1	2	3	1	2		1	2	3	1	2
1	2,0	1,5	4,0	0,5	3,0	15	2,2	2,0	0	2,0	0
2	0	0	1,0	-3,0		16	2,0	0,5			2,0
3	-1,0	-1,0	-0,5	-4,0	-2,0	17	2,8	1,0	2,0	1,0	
4	-1,0	-1,0			-2,0	18	0	-0,5		0	
5	0	2,0			0	19	-5,0	2,0		-3,0	
6	2,0	9,0			1,0	20	-5,0	4,0			
7	2,6	1,5	2,0	-2,0		21	0				
8	0	-0,5		-2,0		22	2,8	4,0			
9	-1,2	-3,0		2,0	-5,0	23	2,0	0,5	1,0	0	
10	-1,2	-2,0			-4,0	24	-1,0	-2,0		0	
11	-0,5				-1,0	25	-2,0	-2,0		-0,5	
12	2,8	4,0			0	26	-2,5	-2,0			
13	3,0	1,0	0,5	1,5	0	27	-1,5				
14	3,0	0,5			2,0	28	2,0	3,5			

Примечание: в табл. 1 опущены значения перемещений в точках, в которых трудно было произвести замеры.

На штоке усилие при различных вариантах нагружения соответственно

равны для ОМ 7206-4098: 1 – 20 кН; 2 – 20 кН; 3 – 10 кН; 4 – 10 кН; для ОМ 7206-4099: 1 – 10 кН; 2 – 10 кН; 3 – 5 кН.

Отдельно был выявлен характер распределения перемещений точек по окружности $\varnothing 35$ мм с центром в точке С (см. рис. 12) при нагружении приспособления ОМ 7206.4098 по первому варианту (усилие на штоке равно 20 кН). Для этого были размещены индикаторы в точках 29, 80, 31, 32 (см. рис.12). Величины перемещений в этих точках следующие: в точке 29 -7 мкм, в точке 30 -6 мкм, в точке 31 -3 мкм, в точке 33 -6 мкм.

На основе данных, сведенных в табл. 1 (получены путем осреднения результатов трех замеров), были построены графики распределения перемещений точек базовой поверхности приспособлений: на рис. 14-19 – для приспособлений ОМ 7206-4098, на рис. 20-22 – для ОМ 7206-4099.

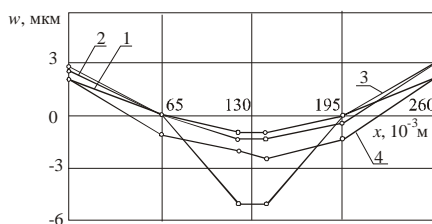


Рис. 14. Распределение перемещений точек базовой поверхности приспособления ОМ 7206-4098 при первом варианте нагружения вдоль оси x

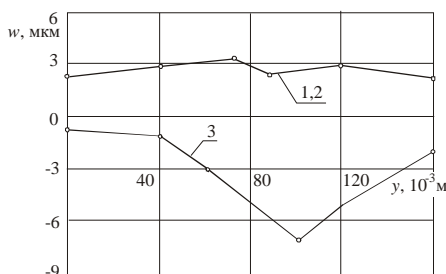


Рис. 15. Распределение перемещений точек базовой поверхности приспособления ОМ 7206-4098 при первом варианте нагружения вдоль оси y

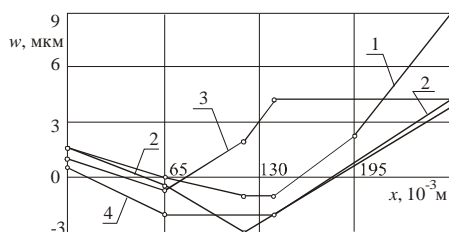


Рис. 16. Распределение перемещений точек базовой поверхности приспособления ОМ 7206-4098 при втором варианте нагружения вдоль оси x

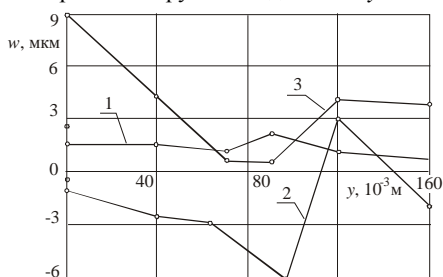


Рис. 17. Распределение перемещений точек базовой поверхности приспособления ОМ 7206-4098 при втором варианте нагружения вдоль оси y

На рис. 20-22 представлены графики функций $w(x, y)$ в сечениях: $y = 0$ мм (1-й график), $y = 40$ мм (2-й график), $y = 120$ мм (3-й график), $y = 160$ мм (4-й график). Там же – распределения в

следующих сечениях: для приспособления ОМ 7206-4098 $x = 0$ мм (1-й график), $x = 130$ мм (2-й график), $x = 260$ мм (3-й график); для ОМ 7206-4099: $x = 0$ мм (1-й график), $x = 260$ мм (2-й график).

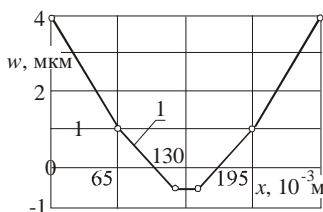


Рис. 18. Распределение перемещений точек базовой поверхности приспособления ОМ 7206-4098 при третьем варианте нагружения вдоль оси x

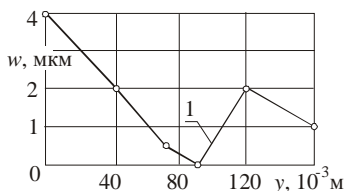


Рис. 19. Распределение перемещений точек базовой поверхности приспособления ОМ 7206-4098 при третьем варианте нагружения вдоль оси y

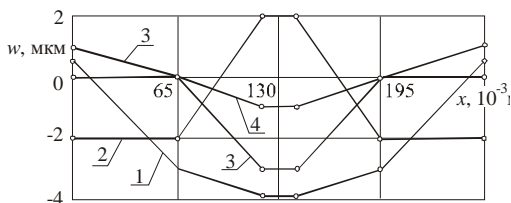


Рис. 20. Распределение перемещений точек базовой поверхности приспособления ОМ 7206-4099 при первом варианте нагружения вдоль оси x

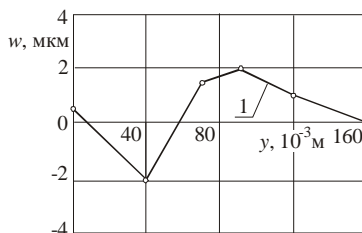


Рис. 21. Распределение перемещений точек базовой поверхности приспособления ОМ 7206.4099 при первом варианте нагружения вдоль оси y

Рабочие моменты испытаний приспособления ОМ 7306-4098 при различных вариантах нагружения показаны на рис.7-10 (соответственно 1, 2, 3, 4-й варианты нагружения). Как видно из рис.10, 4-й вариант нагружения характерен тем, что усилия взаимодействия детали с базовой поверхностью приспособления локализованы в небольшой окрестности точки С. В связи с этим картина деформации точек базовых поверхностей приспособлений ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099 такова, что функция $w(x, y)$ быстро убывает при

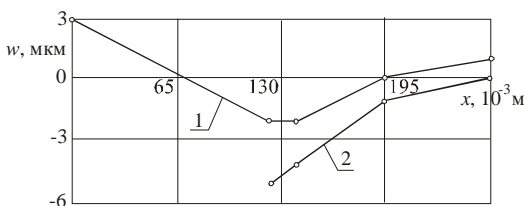


Рис. 22. Распределение перемещений точек базовой поверхности приспособления ОМ 7206-4099 при втором варианте нагружения вдоль оси x

удалении от окрестности области нагружения к нулевому значению. Поэтому в четвертом варианте нагружения приспособления ОМ 7206-4098 и в третьем варианте нагружения приспособления ОМ 7206-4099 (в точках, доступных для измерения) перемещения равны нулю.

4. Сравнение результатов численных и экспериментальных исследований. На этапе сопоставления результатов численных и экспериментальных результатов исследования приспособлений ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099 сложилась ситуация, для которой определяющими оказались следующие факторы:

- Характер распределения и величины перемещений точек базовых поверхностей приспособлений, полученные численно и в процессе экспериментальных исследований, совпадают (отличие - в пределах 10-15%).

- Результаты экспериментальных и теоретических исследований приспособлений ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099 свидетельствуют о том, что их конструкция обеспечивает необходимую жесткость элементов приспособлений со значительным запасом (максимальные перемещения – 9 мкм).

В качестве рекомендации по улучшению конструкции приспособлений ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099 можно отметить, что с целью снижения материалоемкости приспособлений разрешается без значительного ущерба для их жесткостных характеристик уменьшить толщину большинства частей корпуса.

Заключение. Номинальные параметры исследованных приспособлений в целом удовлетворяют всем требованиям по жесткости. В то же время дальнейшие исследования, которые проводились параллельно с проектированием самих приспособлений, могли бы привести к затратам общего времени всего цикла разработки. Исходя из этого, базовые варианты конструкции были приняты в качестве удовлетворяющих основным требованиям жесткости. Сами приспособления были переданы в серийное производство.

Анализ результатов проведенного комплекса численных и экспериментальных исследований позволяет заключить, что основная их цель достигнута: на основе компромиссной экспертной оценки параллельно проводимых расчетов и экспериментов (исследователь – составное и активное звено в предложенном в работе подходе к анализу и синтезу элементов технологического оснащения предприятий отечественного машиностроения), было отмечено, что в обобщенном параметрическом пространстве определена точка, соответствующая и достаточно качественным расчетным моделям, и рациональному набору конструктивных и технологических параметров приспособлений ОМ 7206-4098 и ОМ 7206-4099. Приспособления были изготовлены в “металле” и подтвердили в ходе эксплуатации высокие жесткостные характеристики, обеспечивая высокую точность обработки деталей.

Предложенная технология расчетно-экспериментальных исследований в данном случае вместо нескольких шагов уточнения расчетных моделей и улучшения конструкции привела уже на первом этапе к решению, которое

удовлетворило разработчиков. Эта ситуация возникает в случае достаточно удачной компоновки, предложенной на первых этапах проектирования. Кроме того, усилия, необходимые для улучшения конструкции, а также временные затраты не окупают предположительного конечного выигрыша. В таких случаях важна компромиссная экспертная оценка ситуации.

В процессе дальнейших исследований предложенный метод исследований нуждается в развитии: требуется подробное сравнение распределений перемещений базовых плоскостей, полученных экспериментально и численно. Эту проблему может решить, например, применение экспериментального метода голографической интерферометрии.

Список литературы. 1. ГОСТ 8–82. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность. – М.: Изд-во стандартов, 1982.– 10 с. 2. ГОСТ 25443–82. Станки металлорежущие. Образцы–изделия для проверки точности обработки. Общие технические требования. – Введ. 09.09.82. – М.: Изд-во стандартов, 1982.– 8 с. 3. *Вороненко В.П., Егоров В.А., Косов М.Г., Попов Д.Р., Суттон-Заде Н.М., Схиртладзе А.Г.* Проектирование автоматизированных участков и цехов. – М.: Высшая школа, 2000. – 272 с. 4. *Осинов В.В., Марков Н.Н.* Нормирование точности в машиностроении. –М.: Высшая школа, 2001. – 335 с. 5. *Г.Н. Андреев, Новиков В.Ю., Схиртладзе А.Г.* Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства: Учеб. пособие / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Высшая школа, 1999. – 415 с. 6. *Борончукова И.М., Гусев А.А.* Проектирование технологии автоматизированного машиностроения. – М.: Высшая школа, 1999. – 416 с. 7. *Кочетков А.М., Жолткевич Н.Д., Мовишвич И.Я., Глуценко В.И.* Концепция создания отраслевой системы ускоренной технологической подготовки производства на базе универсально–сборной переналаживаемой технологической оснастки // Вопросы оборонной техники. – 1990. – Сер. 2, вып.10 (229).– С.3-7. 8. *Глуценко В.И., Кобзев А.С.* Механизированная станочная оснастка – эффективное средство повышения производительности станков // Вопросы оборонной техники. – 1990. – Сер. 2, вып.10 (229).– С.8-13. 9. *Кобзев А.С., Глуценко В.И.* Прогрессивные конструкции универсальных станочных тисков // Вопросы оборонной техники. – 1990. – Сер. 2, вып.10 (229).– С.13-16. 10. *Жолткевич Г.Н.* Автоматизация проектирования технологической оснастки: Теория и практика. – К.: Техніка, 1992. – 216 с. 11. *Жолткевич Н.Д., Фост А.М.* К вопросу конструирования технологической оснастки на основе композиционных материалов для листоштамповочных модулей // Механіка та машинобудування.– 2003.– № 1.– Том 2.– С.202-205. 12. *Кошелев А.А., Семенякин С.П., Олешко В.И.* Создание переналаживаемой оснастки для вибротестирования РЭА // Вопросы оборонной техники. – 1990. – Сер. 2, вып.10 (229).– С.53-55. 13. *Гаврилов А.А., Янкович Л.Н., Исаева В.И.* Универсально–сборные переналаживаемые пресс – формы для автоматических роторно–конвейерных линий // Вопросы оборонной техники. – 1990. – Сер. 2, вып.10 (229).– С.56-59. 14. *Заяренко Е.И., Кузнецова Л.Г.* Испытания прочности и жесткости базовых плит переналаживаемых штампов // Вопросы оборонной техники. – 1990. – Сер. 2, вып.10 (229).– С.61–65. 15. *Раховский А.В., Бых А.И., Мовишвич А.Я.* Исследование точностных параметров изготовления элементов унифицированной технологической оснастки // Механіка та машинобудування.– 2003.– № 1.– Том 2.– С.308-312. 16. *Овчинников А.Г.* Основы теории штамповки выдавливанием на прессах. – М.: Машиностроение, 1983. – 200 с. 17. *Романовский В.П.* Справочник по холодной штамповке. – М – Л: – Машиностроение, 1965. – 200 с. 18. *Гунн Г.Я.* Теоретические основы обработки штампов давлением. – М.: Металлургия, 1980. – 296 с. 19. *Попов Е.А.* Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с. 20. *Решетов Д.Н., Портман В.Т.* Точность металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.

Поступила в редколлегию 11.01.2006